

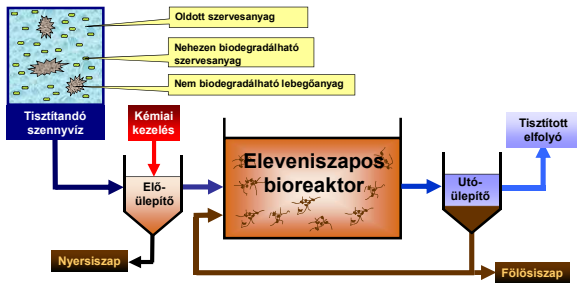
# Biomérnöki számítás és tervezés

# Biomérnöki számítás és tervezés

Számonkérés: ZH Nov. 21. 14:15-16 (K234)  
PZH Dec. 5. 14:15-16 (K134)

[http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/abet/BMEVEMBA779\\_Biomernoki\\_szamitas\\_es\\_tervezes/](http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/abet/BMEVEMBA779_Biomernoki_szamitas_es_tervezes/)

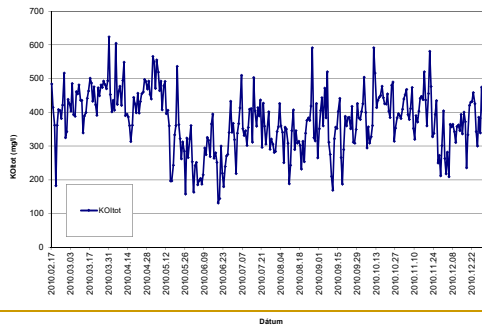
## Az eleveniszapos szennyvíztisztítás világszerte a leggyakoribb



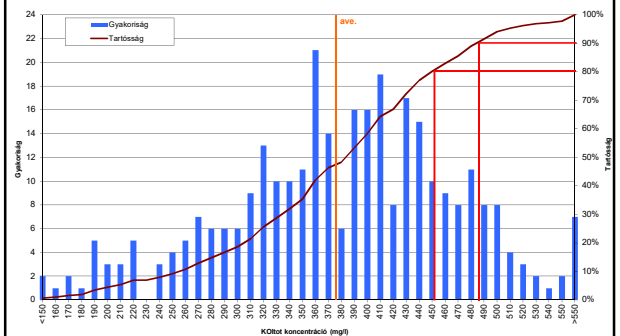
## Befolyó szennyvízminőségi paraméterek

Paraméter	min	max	átlag	Tartósság	
				80 %	90 %
KOI tot.	131	624	372	452	487
KOI oldott.	58	248	158	207	214
BO <sub>5</sub>	75	390	222	284	297
TSS	46	532	218	266	294
TSS volat.	35,4	86,7	70,8	-	-
NH <sub>4</sub> -N	8,4	43,4	28,4	36,9	39,3
TKN	15,1	61,2	39,2	49,3	53
TN	17,3	61,8	39,8	-	-
TP	2,1	7,9	5	6,1	6,4

## Egy szennyvíztisztító telep befolyó KOI értékeinek időbeli alakulása



## Befolyó KOI hisztogram

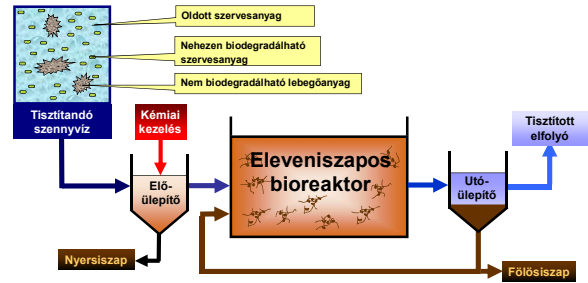


## 28/2004 (XII.25) KvVM rendelet

A szennyvizek befogadóba való közvetlen bevezetésére vonatkozó, vízminőségvédelmi területi kategóriák szerint meghatározott kibocsátási határértékek

Kategória → Paraméter ↓	I. Balaton és vízgyűjtője közvetlen befogadói	II. Egyéb védett területek befogadói	III. Időszakos vízfolyás befogadói	IV. Általános védeltségi kategória befogadói
KOI (mg l <sup>-1</sup> )	50	100	75	150
BOI <sub>5</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	15	30	25	50
NH <sub>4</sub> -N (mg l <sup>-1</sup> )	2	10	5	20
TIN (mg l <sup>-1</sup> )	15	30	20	50
TN (mg l <sup>-1</sup> )	20	35	25	55
TP (mg l <sup>-1</sup> )	0,7	5	5	10
TSS (mg l <sup>-1</sup> )	35	50	50	200

## Az eleveniszapos szennyvíztisztítás világszerte a leggyakoribb



## Előülepítő



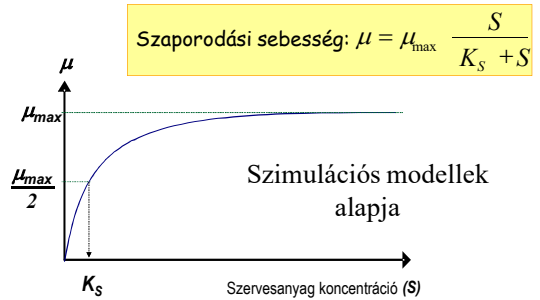
## Eleveniszapos bioreaktorok



## Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep



## Monod kinetika a nem toxikus anyagokra



## Monod kinetika a nem toxikus anyagokra

$$\frac{dx}{dt} = \mu \cdot x$$

ahol:  $x$  – mikroorganizmusok koncentrációja [g/l]  
 $\mu$  – fajlagos szaporodási (növekedési) sebesség [d<sup>-1</sup>]

Fajlagos szaporodási sebesség: 
$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_s + S}$$

ahol:  $\mu_{\max}$  – maximális fajlagos szaporodási sebesség [d<sup>-1</sup>]  
 $S$  – szubsztrát koncentráció [mg/l]  
 $K_s$  – féltelítési koefficiens [mg/l]

## A HRT és SRT kapcsolata

$$HRT = \tau = \frac{V}{Q} = \frac{1}{D}$$

Reaktorban lévő  
iszapmennyiség (kg)

$$SRT = \Theta = \frac{V \cdot X}{Q_f \cdot X_f + Q \cdot X_L}$$

Elvett iszap mennyisége (kg/d)

Elfolyó lebegőanyag mennyisége (kg/d)

## Az SRT értéke állandósult állapotban

$$Elvétel = V \frac{dX}{dt} = V \cdot \mu \cdot X$$

$$SRT = \Theta = \frac{V \cdot X}{V \cdot \mu \cdot X} = \frac{1}{\mu}$$

## A tisztítandó szennyvíz nitrogén tartalma

$$TN = NH_4\text{-N} + \text{szerves N} = TKN$$

az oxidált szerves N formák (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> és NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)  
mennyisége általában elhanyagolható

$$\frac{\text{szerves N}}{TN} \sim 10\text{-}30\%$$

szennyvízfüggő, csatornafüggő, hőfokfüggő

## A biológiai nitrogéntávolesztés lépései

### Ammonifikáció:

szerves N → ammónia-N

### Nitrifikáció:

ammónia-N → nitrát-N

### Denitrifikáció:

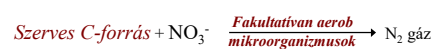
nitrát-N → nitrogén gáz

## Nitrifikáció és denitrifikáció

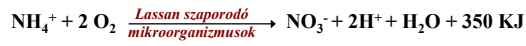
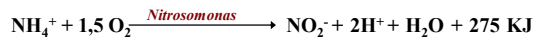
### Nitrifikáció



### Denitrifikáció



## Nitrifikáció



- Nagy oxigén igény

- Kis  $\mu$  érték

Nagy rendszerbeli tartózkodási idő igény

## Az autotókok (A) növekedése

$$\mu_{A-val} = \mu_A \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left( \frac{S_O}{K_{OA} + S_O} \right)$$

$\mu_{A-val}$  = nitrifikáló mikroorganizmusok valós fajlagos növekedési sebessége (1/d)

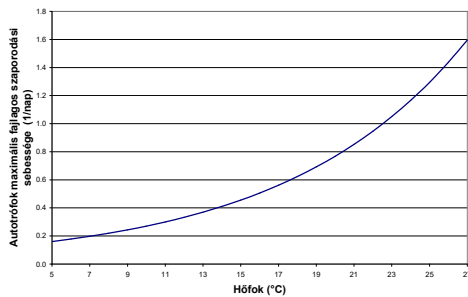
$\mu_A$  = nitrifikáló mikroorganizmusok maximális fajlagos növekedési sebessége (1/d)

$S_{NH}$  = ammónia-N koncentráció (mg/l)

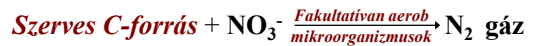
$K_{NH}$  = ammónia-N-re vonatkoztatott féltelítési állandó (mg/l)

$K_{OA}$  = oldott oxigénre vonatkoztatott féltelítési állandó (mg/l)

## Nitrifikálók szaporodási sebességének hőfokfüggése



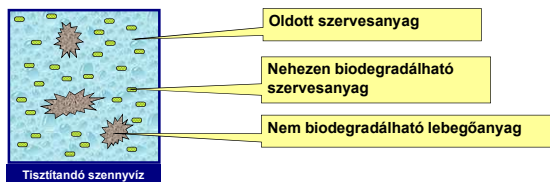
## Denitrifikáció



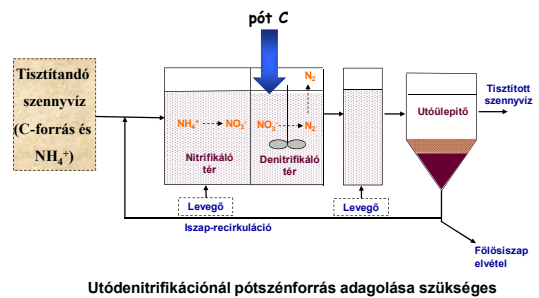
- Oxigén távollétében

- Denitrifikálható szénforrás igény

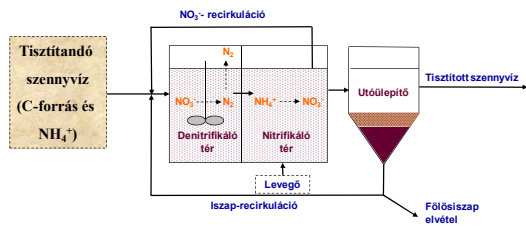
## Denitrifikáció: megfelelő C-forrás igény



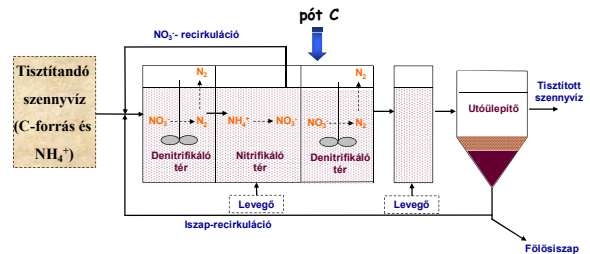
## Biológiai nitrogéntávolítás utódenitrifikációval



## Biológiai nitrogéntávolítás elődenitrifikációval

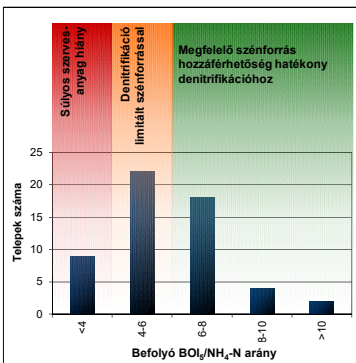


## Biológiai nitrogéntávolítás kombinált elő- utódenitrifikációval



Utódenitrifikációnál pótszénforrás adagolása szükséges

## Magyarországi szennyvíztisztító telepek befolyó $BO_5/NH_4-N$ értékek szerinti megoszlása – denitrifikációs kapacitás



A befolyó szennyvíz minőségek

44%-a rendelkezik megfelelő mennyiségű szénforrással

40%-a szénforrás limitált denitrifikációt tesz lehetővé

16%-a súlyos szervesanyag hiányt mutat

## Eleveniszapos rendszerek matematikai modellezése

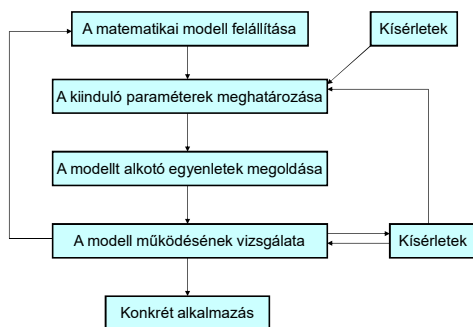
Mi a modell?

- a valóság (egyszerűsített) matematikai leírása

A modellezés célja:

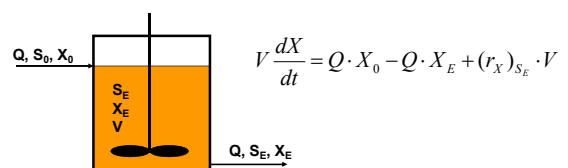
- az eleveniszapos rendszerben lejátszódó meghatározó folyamatok leírása
- a folyamatok ismeretében a technológia tervezés és üzemeltetés elősegítése

## A modellezés folyamata



## A modellezés alapja

- kémiai és biokémiai folyamatokat leíró matematikai modellezés esetén az anyagmérleg egyenlet ill. az anyagmegmaradás törvénye



## Az ASM1 matematikai modell

- Activated Sludge Model No1
- IAWPRC task group, 1985  
(Henze M., Grady C.P.L., Gujer W., Marais G.V.R., Matsuo T.)
- 1987 A modell végső kidolgozása  
(Grady C.P.L., S. Bidstrup - SSSP)

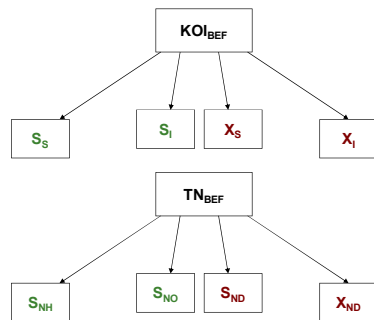
### A modell tartalma:

- 8 kémiai/biokémiai folyamat
- 13 komponens
- 5 sztöchiometriai paraméter
- 15 kinetikai paraméter

## A modell paraméterek

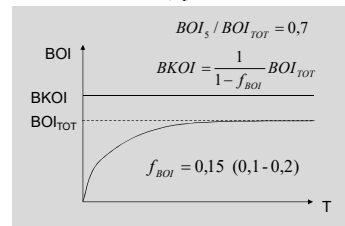
Az ASM 1 modellben használt komponensek szimbólumainak definíciója			
Komponens szám	Szimbólum	Definíció	
KOI	1	$S_S$	Oldott könnyen biodegradálható szervesanyag, $\text{mg l}^{-1}$ KOI
	2	$S_I$	Oldott, inert szervesanyag, $\text{mg l}^{-1}$ KOI
	3	$X_S$	Nehezen biodegradálható szervesanyag, $\text{mg l}^{-1}$ KOI
	4	$X_I$	Inert szervesanyag, $\text{mg l}^{-1}$ KOI
TN	5	$S_{\text{NH}}$	Ammónia nitrogén, $\text{mg l}^{-1}$ N
	6	$S_{\text{ND}}$	Oldott, biodegradálható szerves nitrogén, $\text{mg l}^{-1}$ N
	7	$X_{\text{ND}}$	Nehezen biodegradálható szerves nitrogén, $\text{mg l}^{-1}$ N
	8	$S_{\text{NO}}$	Nitrát nitrogén, $\text{mg l}^{-1}$ N
	9	$X_{\text{B,A}}$	Aktív heterotróf biomassa, $\text{mg l}^{-1}$ KOI
	10	$X_{\text{B,A}}$	Aktív autotróf biomassa, $\text{mg l}^{-1}$ KOI
	11	$X_D$	Biomassa stabilizációból származó sejttermék, $\text{mg l}^{-1}$ KOI
	12	$S_O$	Oldott oxigén, $\text{mg l}^{-1}$ KOI
	13	$S_{\text{ALK}}$	Alkalinitás, $\text{mol l}^{-1}$

## A befolyó paraméterek meghatározása



## KOI frakcionálás (STOWA)

- $S_I$  = a tisztított szennyvíz oldott KOI értéke
- $S_I = S_S + S_I = 0,1$   $\mu\text{m}$  pórusátmérőjű szűrőn szűrt v.  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ -vel flokkulált minta KOI értéke ( $S_I$ )
- $X_S + S_S = \text{BKOI}$



- $S_S = S_I - S_I$
- $X_S = \text{BKOI} - S_S$
- $X_I = \text{KOI}_{\text{BEF}} - S_S - S_I - X_S$

## KOI frakcionálás + lebegőanyag

BEFOLYÓ  $Q = 25000 \text{ m}^3/\text{d}$

- $\text{KOI} = 550 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4\text{-N} = 38 \text{ mg/l}$
- $\text{KOI}_{\text{szűrt}} = 180 \text{ mg/l}$
- $\text{NO}_{3,2}\text{-N} = 0 \text{ mg/l}$
- $\text{BOI}_S = 275 \text{ mg/l}$
- $\text{TKN} = 45 \text{ mg/l}$
- $\text{KOI}_{\text{el}} = 25 \text{ mg/l}$

- $S_I = 25 \text{ mg/l}$
- $S_S = 180 - 25 = 155 \text{ mg/l}$
- $\text{BKOI} = 275 / 0,7 * 1 / (1 - 0,15) = 462 \text{ mg/l}$
- $X_S = 462 - 155 = 307 \text{ mg/l}$
- $X_I = 550 - 25 - 155 - 307 = 63 \text{ mg/l}$

## TN frakcionálás

- $\text{TKN} = \text{TN} - \text{NO}_2\text{N} - \text{NO}_3\text{N}$
- $\text{TIN} = \text{NH}_4\text{N} + \text{NO}_2\text{N} + \text{NO}_3\text{N}$
- $S_{\text{ND}} + X_{\text{ND}} = \text{TKN} - \text{NH}_4\text{N}$
- $S_{\text{ND}} / X_{\text{ND}} = S_S / X_S$

A hazai gyakorlatban nem igazolódott

## TN frakcionálás

BEFOLYÓ Q=25000 m<sup>3</sup>/d

- K<sub>OI</sub>=550 mg/l
- NH<sub>4</sub>-N=38 mg/l
- K<sub>OIszűrt</sub>=180 mg/l
- NO<sub>3,2</sub>-N=0 mg/l
- B<sub>OI</sub>=275 mg/l
- TKN=45 mg/l

■ K<sub>OIa</sub>=25 mg/l

- S<sub>ND</sub>+X<sub>ND</sub>= 45 - 38 = 7 mg/l
- S<sub>ND</sub>= 2 mg/l
- X<sub>ND</sub>= 5 mg/l

## Modellezett folyamatok

### A megfelelő differenciálegyenlet-rendszer segítségével modellezhető folyamatok (ASM1)

Folyamat megnevezése	
1	heterotrof mikroorganizmusok aerob növekedése
2	heterotrof mikroorganizmusok anoxikus növekedése (denitrifikáció)
3	autotrof mikroorganizmusok aerob növekedése (nitrifikáció)
4	heterotrof mikroorganizmusok sejtpusztulása (szétesés)
5	autotrof mikroorganizmusok sejtpusztulása (szétesés)
6	oldható, szerves nitrogén ammionifikációja (ammóniává alakulás)
7	nehezen biodegradálható szervesanyag hidrolízise
8	nehezen biodegradálható szervesanyaghoz kötött szerves nitrogén hidrolízise

## A mátrix-formula

- Mikroorganizmusok növekedése és pusztulása

Komponens	X	S	Sebességi egyenlet
Növekedés	1	-1/Y	$r_1 = \mu \frac{S}{K_S + S} X$
Pusztulás	-1		$r_2 = b \cdot X$

$$\frac{dX}{dt} = \mu \frac{S}{K_S + S} X - bX \quad \frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y} \mu \frac{S}{K_S + S} X$$

## Kinetikai és sztöchiometriai paraméterek

Jelölés	Definíció	Mértékegység
Sztöchiometriai együtthatók		
Y <sub>H</sub>	Heterotrof biomassza hozam	mg K <sub>OI</sub> / mg K <sub>OI</sub>
f <sub>F</sub>	Nehezen biodegradálható biomassza frakció	mg O <sub>2</sub> /l
i <sub>NB</sub>	Biomassza nitrogén tartalma	mg N/ mg K <sub>OI</sub>
i <sub>ND</sub>	Biomassza nitrogén tartalma lizist követően	mg N/ mg K <sub>OI</sub>
Y <sub>A</sub>	Autotrof biomassza hozam	mg K <sub>OI</sub> / mg N
Kinetikai paraméterek		
μ <sub>H</sub>	Maximális fajlagos növekedési sebesség, heterotrof biomasszára	h <sup>-1</sup>
K <sub>S</sub>	Szubsztrát feltétlenségi állandó heterotrof biomasszára	mg K <sub>OI</sub> /l
K <sub>OH</sub>	Oxigén feltétlenségi állandó heterotrof biomasszára	mg O <sub>2</sub> /l
K <sub>NO</sub>	Nitrát feltétlenségi állandó heterotrof biomasszára	mg N/l
b <sub>H</sub>	Heterotrof mikroorganizmusok pusztulási együtthatója	h <sup>-1</sup>
η <sub>g</sub>	η <sub>g</sub> korrekciós faktora anoxikus környezet esetén	dimenzió nélküli
η <sub>h</sub>	Hidrolízis korrekciós faktora anoxikus környezet esetén	dimenzió nélküli
k <sub>a</sub>	Ammionifikációs arány	l/(mg K <sub>OI</sub> ·h)
k <sub>b</sub>	Maximális fajlagos hidrolízis arány	mg K <sub>OI</sub> / (mg K <sub>OI</sub> ·h)
K <sub>X</sub>	Nehezen biodegradálható szubsztrát hidrolízisének feltétlenségi állandója	mg K <sub>OI</sub> / mg K <sub>OI</sub>
μ <sub>A</sub>	Maximális fajlagos növekedési sebesség, autotrof biomasszára	h <sup>-1</sup>
K <sub>NH</sub>	Ammónia feltétlenségi állandó autotrof biomasszára	mg N/l
K <sub>NO</sub>	Oxigén feltétlenségi állandó autotrof biomasszára	mg O <sub>2</sub> /l
b <sub>A</sub>	Autotrof mikroorganizmusok pusztulási együtthatója	h <sup>-1</sup>

## A sztöchiometriai mátrix

Komponens	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Folyamat sebesség, μ (ML <sup>-3</sup> T <sup>-1</sup> )
1 Heterotrof aerob növekedés	1	1/Y <sub>H</sub>												μ <sub>H</sub> (S <sub>S</sub> / (K <sub>S</sub> + S <sub>S</sub> )) (S <sub>O</sub> / (K <sub>OH</sub> + S <sub>O</sub> ))
2 Heterotrof anoxikus növekedés		1/Y <sub>H</sub>												μ <sub>H</sub> (S <sub>S</sub> / (K <sub>S</sub> + S <sub>S</sub> )) (K <sub>NO</sub> / (K <sub>NO</sub> + S <sub>NO</sub> ))
3 Autotrof aerob növekedés			1											μ <sub>A</sub> (S <sub>NO</sub> / (K <sub>NO</sub> + S <sub>NO</sub> )) (S <sub>O</sub> / (K <sub>OH</sub> + S <sub>O</sub> ))
4 Heterotrof autólízis														b <sub>H</sub> X <sub>H</sub>
5 Autotrof autólízis														b <sub>A</sub> X <sub>A</sub>
6 Oldható szerves anyag hidrolízise														k <sub>a</sub> S <sub>ND</sub>
7 Nehezen biodegradálható szerves anyag hidrolízise														k <sub>b</sub> S <sub>ND</sub>
8 Nitrát redukció														μ <sub>H</sub> X <sub>H</sub> i <sub>ND</sub>
9 Ammónia oxidáció														μ <sub>A</sub> X <sub>A</sub> i <sub>NB</sub>

## A heterotrófok (H) növekedése

- Aerob növekedés

$$r_1 = \mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) X_{BH}$$

Oldott oxigén konc.

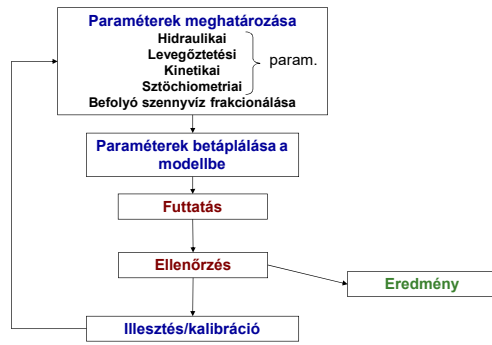
Oldott ox.-re vonatkoztatott feltétlenségi állandó

- Anoxikus növekedés

$$r_2 = \mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \eta_g X_{BH}$$

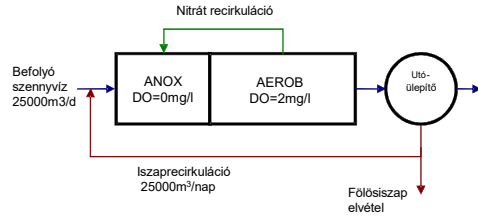
Nitrát/nitrit koncentráció

## A modellezés menete



## Elődenitrifikációs rendszer tervezése és modellezése

- Hidraulikai tartózkodási idő ~ 0,5 d
- Anox. reaktor átfolyás tartózkodási idő min. fél óra



## Elődenitrifikációs rendszer tervezése és modellezése

- Hidraulikai tartózkodási idő ~ 0,5 d

$$\tau = V/Q \rightarrow V = Q * \tau = 25000 \text{ m}^3/\text{d} * 0,5 \text{ d} = 12500 \text{ m}^3$$

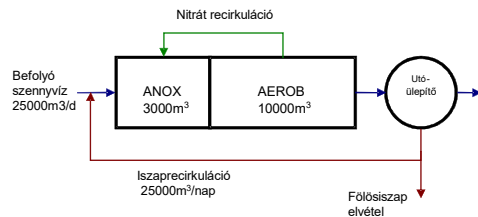
- Anox. reaktor befolyó szubsztrát tartózkodási idő min. 0,5 óra

$$\tau = V/Q \rightarrow V = (Q_{\text{bef}} + Q_{\text{RAS}} + Q_{\text{Nrec}}) * \tau$$

$$Q_{\text{Nrec}} \text{ maximum } 75\,000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V = (25000 + 25000 + 75000) \text{ m}^3/\text{d} * (0,5 \text{ h}/24 \text{ h}/\text{d}) = 2604 \text{ m}^3$$

## Elődenitrifikációs rendszer tervezése és modellezése



Nitrifikáció szempontjából fontos iszap tartózkodási idő számítása:

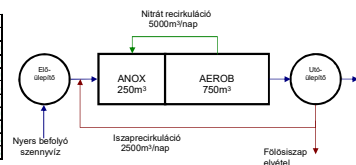
$$SRT_{\text{aerob}} = SRT * V_{\text{aer}} / V_{\text{tot}} \rightarrow SRT_{\text{aer}} > 1/\mu_{\text{a}}$$

## Fontosabb megállapítások

- Ha alacsony az iszap tartózkodási idő → csökkenteni kell az iszapelvételt (ettől az iszapkoncentráció is nő a bioreaktorokban).
- Ha az anoxikus reaktorban van könnyen biodegradálható szubsztrát (elsősorban acetát) és nincs nitrát v. nitrít → a hatékonyabb denitrifikáció érdekében növelni lehet a recirkulációk értékeit ( $Q_{\text{RAS}}$ ,  $Q_{\text{NREC}}$ )
- Ha az anoxikus reaktorban nincs könnyen biodegradálható szubsztrát és van nitrát v. nitrít → nincs megfelelő mennyiségű szénforrás a hatékony denitrifikációhoz, adott esetben a recirkuláció csökkenthető, szükséges esetben pótszénforrás adagolandó

## ASM1 modell esettanulmány elődenitrifikációs rendszerre

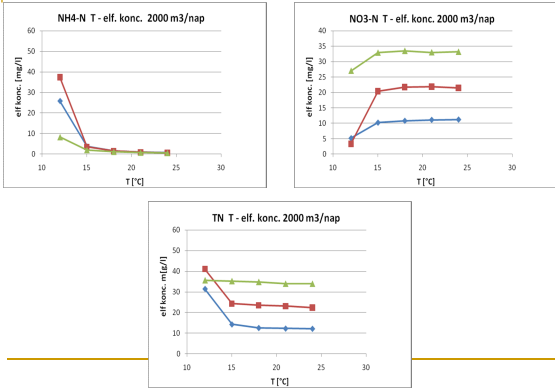
	Szennyvíz minőségek		
	I	II	III
tKOl (mgKOl/l)	600	550	450
Si (mgKOl/l)	40,0	40,0	40,0
Ss (mgKOl/l)	340,0	160,0	110,0
Xs (mgKOl/l)	130,6	243,4	209,3
Xi (mgKOl/l)	89,4	106,6	90,7
NH4N (mgN/l)	60,0	60,0	60,0
NO3N (mgN/l)	0,0	0,0	0,0
Snd (mgN/l)	5,1	2,8	2,4
Xnd (mgN/l)	4,9	7,2	7,6



- Befolyó mennyiség: 2000 m³/d
- Maximális eleveniszap koncentráció: 4200 mgKOl/l
- DO<sub>anox</sub> = 0 mg/l      DO<sub>aerob</sub> = 2 mg/l



## A modellezés eredményei



## A modell kalibrációja/illesztése

